

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. September 2005 (15.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/085955 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G03F 7/20**,  
G02B 5/20, 5/30

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **CARL ZEISS SMT AG** [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse  
22, 73447 Oberkochen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/002148

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:  
1. März 2005 (01.03.2005)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FIOLKA, Damian**  
[DE/DE]; Heckenrosenweg 36, 73447 Oberkochen (DE).  
**SCHOLZ, Axel** [DE/DE]; Milanweg 2, 73434 Aalen  
(DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(74) Anwalt: **RUFF, WILHELM, BEIER, DAUSTER UND  
PARTNER**; Kronenstrasse 30, 70174 Stuttgart (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

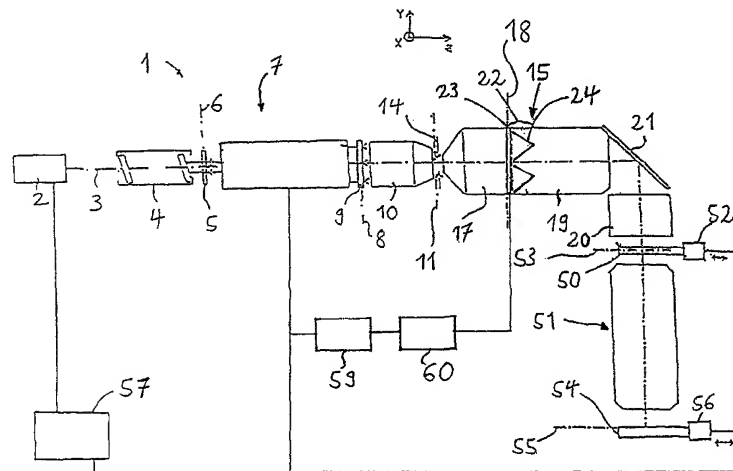
(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 011 733.0 4. März 2004 (04.03.2004) DE

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: TRANSMISSION FILTER DEVICE

(54) Bezeichnung: TRANSMISSIONSFILTERVORRICHTUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a transmission filter device for position/dependent intensity filtering of an incident light distribution, comprising at least one delay device (23) which can be operated during transmission and which is used to produce a position dependent delay effect on the light of the incident light distribution. The delay device (23) can be controlled for the production of a temporal, variable, position/dependent delay effect. The inventive transmission filter device also comprises at least one polarisation filter arrangement (24) which is arranged in the light path behind the delay device. Said transmission filter device (22) is particularly suitable for use in illuminating systems of microlithographic projection arrangements such that the transmission filter effect can be adjusted in a temporally variable manner and can be synchronised according to the variations of the illumination settings of the illuminating system. A substrate illuminating method can be carried out in an advantageous manner according to the inventive illuminating system.

(57) **Zusammenfassung:** Eine Transmissionsfiltervorrichtung zur ortsabhängigen Intensitätsfilterung einer Eintrittslichtverteilung umfasst mindestens eine in Transmission betreibbare Verzögerungseinrichtung (23) zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht der Eintrittslichtverteilung, wobei die Verzögerungseinrichtung

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2005/085955 A2



AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(23) zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung ansteuerbar ist, sowie mindestens eine im Lichtweg hinter der Verzögerungseinrichtung angeordnete Polarisationsfilteranordnung (24). Die Transmissionsfiltervorrichtung (22) eignet sich besonders für den Einsatz in Beleuchtungssystemen von Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlagen, da die Transmissionsfilterwirkung zeitlich variabel einstellbar und somit auf den Wechsel der Beleuchtungssettings des Beleuchtungssystems abstimmbare ist. Ein Belichtungsverfahren eines Substrats ist mit einem erfindungsgemäßen Beleuchtungssystem vorteilhaft durchführbar.

- 1 -

Beschreibung  
Transmissionsfiltervorrichtung

5

Die Erfindung betrifft eine Transmissionsfiltervorrichtung zur ortsabhängigen Intensitätsfilterung einer Eintrittslichtverteilung, ein Beleuchtungssystem für eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einer solchen Transmissionsfiltervorrichtung und ein Belichtungsverfahren.

10

Eine Anwendung, bei der es besonders auf die exakte Einhaltung einer vorgegebenen Transmissionsverteilung mit räumlich variierender Lichtdurchlässigkeit ankommt, ist die mikrolithographische Herstellung von Halbleiterbauelementen oder anderen feinstrukturierten Bauteilen. Hier-

15

zu werden bekanntlich Waferstepper oder Waferscanner eingesetzt, bei denen u.a. die Forderung besteht, in der Bildebene eines Projektionsobjektives die Abweichungen der Beleuchtungsintensität von einer Gleichverteilung innerhalb von für die Beleuchtung vorgesehenen Winkelbereichen so gering wie möglich zu halten. Spezifikationen mit

20

Abweichungen von weniger als  $\pm 2\%$  sind hier üblich. Diese Spezifikation wird bei gegebenem Beleuchtungssystem und gegebenem Projektionsobjektiv häufig nicht direkt erreicht, insbesondere wenn keine Lichtmischeinrichtung in einem solchen Beleuchtungssystem vorgesehen ist. Zur Beseitigung einer nicht tolerierbaren Ungleichverteilung kann ein zusätzliches Abschwächungsfilter mit geeignet vorgegebenem Transmissionsprofil im Beleuchtungssystem vorgesehen sein.

25

30

Ein solches Abschwächungsfilter zur definierten Abschwächung der Lichtintensität von transmittiertem kurzwelligem Ultraviolettlicht, insbesondere für Wellenlängen von weniger als 200nm, gemäß einer vorgebbaren räumlichen Verteilung der Lichtdurchlässigkeit wird in der US 2002/0191310 beschrieben. Es weist ein beispielsweise aus kristalli-

nem Calciumfluorid bestehendes Substrat auf, bei dem auf mindestens einer Oberfläche eine Filterschicht mit einem im vorgegebenen Wellenlängenbereich absorbierenden, dielektrischen Material aufgebracht ist. Die Filterschicht besteht für Arbeitswellenlängen um 193nm im Wesentlichen aus Tantalpentoxid.

Derartige Transmissionsfiltervorrichtungen haben fest vorgebbare Ortsabhängigkeit der Transmission und sind für die Korrektur der Intensitätsverteilung bei einem fest vorgegebenen Beleuchtungssetting ausgelegt. Für eine flexible Anpassung der Intensitätsfilterwirkung beim Settingwechsel muss gegebenenfalls ein Filterwechsel vorgenommen werden.

Zur Erzeugung einer orts- und zeitabhängigen Transmissionsfilterwirkung können digitale Filter eingesetzt werden, wie sie beispielsweise in der US 6,215,578 beschrieben werden. Der dort gezeigte digitale Filter weist eine Rasteranordnung von elektronisch ansteuerbaren Pixeln auf, die für das eingestrahlte Licht entweder durchlässig oder opak sind. An einem einzelnen Pixel ist es daher nur möglich, Transmissionsgrade von 100% oder 0% einzustellen. Eine stufenlose Variation der Transmissionsfilterwirkung mit einer Ortsauflösung im Bereich der Pixelgröße lässt sich mit solchen Vorrichtungen somit nicht erreichen.

Aus dem Bereich der optischen Modulatoren ist die Nutzung des Pockels-Effektes bekannt, welcher beschreibt, dass bei bestimmten Materialien deren Doppelbrechung und damit eine erzeugbare Verzögerungswirkung einer angelegten elektrischen Spannung direkt proportional ist. Eine Pockels-Zelle kann in Verbindung mit Polarisatoren auch zum Aufbau eines Pockels-Verschlusses genutzt werden, dessen Transmissionsgrad durch eine an die Pockels-Zelle angelegte Spannung verändert werden kann (vgl. Naumann/Schröder „Bauelemente der Optik“, 6. Auflage (1992), Carl Hanser Verlag, Kapitel 22.3.).

Weiterhin sind transparente Materialien mit sogenannter „Spannungsdoppelbrechung“ bekannt, bei denen die doppelbrechenden Eigenschaften durch Anlegen einer mechanischen Spannung (Zug oder Druck) beeinflusst werden können. Dieser Effekt ist schon zum Aufbau von Verzögerungselementen mit vorbestimmter, homogener Verzögerungswirkung genutzt worden. Beispiele für Verzögerungsplatten, die insbesondere als Viertelwellenlängenplatten ( $\lambda/4$ -Platten) für den tiefen Ultraviolettbereich verwendbar sind, sind im Patent US 6,141,148, in der Patentanmeldung US 2002/0149848 A1 oder im Patent US 6,084,708 gezeigt.

Elemente mit Spannungsdoppelbrechung wurden auch schon zum Aufbau von optischen Elementen mit ortsabhängig unterschiedlicher doppelbrechender Wirkung verwendet, die durch Einleitung äußerer Kräfte veränderbar sein kann (WO 02/093257).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Transmissionsfiltervorrichtung zu schaffen, welche eine einfache Möglichkeit zur Bereitstellung unterschiedlicher Transmissionsfunktionen bietet. Des weiteren soll ein Belichtungsverfahren bereitgestellt werden, welches eine auf einfache Weise variierbare Intensitätsbeeinflussung, insbesondere für eine Homogenisierung einer Intensitätsverteilung in einem Beleuchtungsfeld eines Beleuchtungssystems einer Projektionsbelichtungsanlage erlaubt.

Diese Aufgabe wird durch eine Transmissionsfiltervorrichtung mit den Merkmalen von Anspruch 1 sowie ein Beleuchtungssystem mit den Merkmalen von Anspruch 26 sowie einem Verfahren nach Anspruch 33 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

- 5 Eine erfindungsgemäße Transmissionsfiltervorrichtung umfasst mindestens eine in Transmission betreibbare Verzögerungseinrichtung zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht einer Eintrittslichtverteilung, die zur Erzeugung einer zeitlich variablen Verzögerungswirkung ansteuerbar ist sowie mindestens eine im Lichtweg  
10 hinter der Verzögerungseinrichtung angeordnete Polarisationsfilteranordnung. Die Verzögerungseinrichtung erzeugt aus der Eintrittslichtverteilung eine ortsabhängig polarisierte Lichtverteilung, an der mittels der Polarisationsfilteranordnung eine polarisationsselektive, ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen wird. Die Verzögerungseinrichtung  
15 ist zur Einstellung einer zeitlich variablen Verzögerungswirkung ausgelegt, so dass eine zeit- und ortsabhängige Intensitätsfilterung am Licht der Eintrittslichtverteilung durchgeführt werden kann.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, an einer Verzögerungseinrichtung  
20 eine ortsauflösende Einstellung von lokal unterschiedlichen Verzögerungswirkungen vorzunehmen. Bei einer Ausführungsform umfasst die Verzögerungseinrichtung eine Zellenanordnung mit einer Vielzahl von Zellen, die vorzugsweise individuell und unabhängig voneinander ansteuerbar sind. Die Zellen können in einem zweidimensionalen Feld  
25 (Array) angeordnet sein. Durch die individuelle Ansteuerbarkeit ist es möglich, zwischen benachbarten Zellen sprunghafte Änderungen der Verzögerungswirkung einzustellen, da die Verzögerungswirkung der einzelnen Zellen voneinander weitgehend oder vollständig entkoppelt sein kann.

30

An jeder Zelle ist die Verzögerungswirkung vorzugsweise stufenlos ansteuerbar, was zur Folge hat, dass auch die Transmissionsfilterwir-

kung der Transmissionsfiltervorrichtung mit einer Ortsauflösung, die der Fläche der Zellen entspricht, stufenlos einstellbar ist.

Bei einer Weiterbildung umfasst die Zellenanordnung mindestens einen  
5 nichtlinearen optischen Kristall zur Erzeugung eines linearen elektro-  
optischen Effekts (Pockels-Effekt) in Lichtdurchtrittsrichtung der Eintritts-  
lichtverteilung. Der Pockels-Effekt ist ein nichtlinearer optischer Effekt  
und tritt daher bei nichtlinearen optischen Kristallen auf. Wird zwischen  
zwei gegenüberliegenden Seitenflächen eines z.B. quaderförmigen,  
10 nichtlinearen optischen Kristalls eine Potentialdifferenz  $U$  erzeugt, so  
bildet sich eine Phasenänderung  $\delta$  an dem den Kristall durchstrahlenden  
Licht aus, die proportional zur angelegten Potentialdifferenz  $U$  ist  
gemäß:  $\delta = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n_o^3 \cdot U / \lambda$ . Hierbei bezeichnet  $r$  die elektrooptische  
Konstante des Kristalls,  $n_o$  die ordentliche Brechzahl des Kristalls und  $\lambda$   
15 die Wellenlänge des den Kristall durchstrahlenden Lichtes. Der Pockels-  
Effekt wird auch als linearer elektrooptischer Effekt bezeichnet, da die  
Phasenänderung  $\delta$  linear mit der Potentialdifferenz  $U$  zunimmt. Durch  
diese lineare Abhängigkeit ist die Einstellung einer vorgebbaren  
Phasenänderung  $\delta$  mittels einer Potentialdifferenz  $U$  besonders leicht  
20 und genau möglich.

In einer Ausführungsform ist der nichtlineare optische Kristall für Licht in  
einem Wellenlängenbereich unterhalb von 200nm transparent. Kristalle,  
die unterhalb dieser Wellenlänge transparent sind, eignen sich beson-  
25 ders zum Einsatz in der Mikrolithographie, bei der zur Erzeugung von  
feinsten Halbleiterstrukturen mit Beleuchtungslicht mit Wellenlängen von  
unter 200nm, insbesondere 193nm oder 157nm gearbeitet wird.

Bei einer Weiterbildung besteht der nichtlineare optische Kristall im  
30 Wesentlichen aus Beta-Bariumborat (BBO), Kaliumdihydrogenphosphat  
(KDP), deuteriertem Kaliumdihydrogenphosphat (DKDP) oder Lithium-  
Triborat ( $\text{LiB}_3\text{O}_5$ , LBO). Kristalle aus diesen Materialien sind auch bei

Wellenlängen kleiner als 200nm transparent. KDP und DKDP haben einen Transmissionsbereich von ca. 190nm bis ca. 1500nm. Bei LBO reicht der Transmissionsbereich von ca. 160nm bis ca. 2600nm. Daher sind auch Anwendungen im sichtbaren oder im Infrarotbereich möglich.

5

In einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung ist der nichtlineare optische Kristall als den Bereich der Eintrittslichtverteilung vollständig überdeckende Planplatte mit einer ersten und einer zweiten Plattenfläche ausgeführt. Die Ausgestaltung des nichtlinearen optischen Kristalls als Platte hat den Vorteil, dass Bauvolumen eingespart werden kann und an den planen Plattenflächen vorteilhaft Einrichtungen zur Erzeugung einer Potentialdifferenz zwischen der ersten und der zweiten Plattenfläche angebracht werden können. Die Platte wird vorzugsweise so orientiert, dass die Eintrittslichtverteilung im Wesentlichen senkrecht auf die Plattenflächen auftrifft.

15

Bei einer Weiterbildung ist zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden sowie auf der zweiten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten zweiten Elektroden aufgebracht und erste und zweite Elektroden sind einander zur Bildung einer Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten Elektrodenpaaren paarweise zugeordnet, wobei jedes Elektrodenpaar eine Zelle der Zellenanordnung definiert. Bei manchen Ausführungsformen kann mit jedem Elektrodenpaar unabhängig von den anderen Elektrodenpaaren eine definierte Spannungsdifferenz und damit eine definierte Verzögerungswirkung eingestellt werden. Auch ein gruppenweises Ansteuern mehrerer Elektrodenpaare kann vorgesehen sein. Die Elektroden jedes Elektrodenpaars sind vorteilhafter Weise auf der ersten und zweiten Plattenfläche einander gegenüberliegend angeordnet, wobei die Mehrzahl von Elektrodenpaaren den Teil der planparallelen Platte, an dem die Eintrittslichtverteilung auftrifft, im Wesentlichen vollständig überdecken

20

25

30



sollte. Die Elektrodenpaare können dicht nebeneinander angeordnet werden, ohne dass sich die von den Spannungsdifferenzen der einzelnen Paare hervorgerufenen elektrischen Felder überlagern. Dadurch kann eine hohe Ortsauflösung der ortsabhängigen Verzögerungswirkung sichergestellt werden. Aus Gründen der Elektrostatik sollte jedoch der Abstand zwischen Elektroden eines Elektrodenpaares signifikant kleiner sein als der Abstand zwischen benachbarten Elektrodenpaaren. Dadurch kann sichergestellt werden, dass sich das elektrische Feld praktisch ausschließlich zwischen den einander gegenüber liegenden Elektroden eines Elektrodenpaares ausbildet.

In einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung ist zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden sowie auf der zweiten Plattenfläche mindestens eine zweite Elektrode aufgebracht, wobei mehrere erste Elektroden einer gemeinsamen zweiten Elektrode zugeordnet sind. Dadurch kann der Aufwand, der für die elektrische Kontaktierung der zweiten Elektroden notwendig ist, verringert werden.

Bei einer Weiterbildung ist zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden aufgebracht und die zweite Plattenfläche weist eine einzige zweite Elektrode auf, der die Mehrzahl erster Elektroden zugeordnet ist. Die zweite Elektrode lässt sich auf der zweiten Plattenfläche leicht aufbringen. Zur Herstellung von ortsabhängigen Potentialdifferenzen ist es ausreichend, wenn nur eine Seite der Platte mit elektrisch getrennten Elektroden versehen ist. Die zweite Elektrode kann zur Erzeugung eines Referenzpotentials (z.B. Massepotential für alle ersten Elektroden) dienen. Damit kann auf Seiten der zweiten Elektrode eine einzige Kontaktleiterbahn zur Kontaktierung ausreichen, wodurch der elektrische Anschluss der Zellenanordnung deutlich vereinfacht wird.

In einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung sind paarweise voneinander elektrisch getrennte Elektroden auf dem Kristall in einem Abstand voneinander angeordnet, der groß gegen die Plattendicke des Kristalls ist. Hierdurch wird gewährleistet, dass zwischen benachbarten Zellen keine signifikanten elektrischen Felder auftreten, so dass die Potentialdifferenz jeder Zelle unabhängig von den Potentialdifferenzen benachbarter Zellen eingestellt werden kann.

- 10 Bei einer Weiterbildung sind die Elektroden im Wesentlichen frei von hohen Feldstärken verursachenden Bereichen (Materialspitzen). Durch Vermeidung hoher Feldstärken kann einem Verschleiß des Kristallmaterials wirksam vorgebeugt werden. Materialspitzen können durch eine geeignet gewählte Geometrie der Elektroden verhindert werden, z.B. durch Abrunden von Ecken oder Kanten.

In einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung weist mindestens eine Elektrode eine Antireflexschicht auf. Antireflexschichten tragen zur Vermeidung von Lichtverlusten sowie von Streulicht bei.

20

Bei einer Weiterbildung ist mindestens eine Elektrode als Gitterelektrode mit einer Mehrzahl von Stegen aus elektrisch leitendem Material und hohem transparenten Flächenanteil ausgebildet. Aufgrund des hohen transparenten Flächenanteils geht nur ein geringer Teil des Lichts der Eintrittslichtverteilung durch Absorption und/oder Reflexion am elektrisch leitenden Material verloren.

25

Bei einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung sind die Elektroden derart teiltransparent ausgebildet, dass der durch die Elektroden hervorgerufene Transmissionsverlust der Eintrittslichtverteilung beim Durchgang durch die Zellenanordnung kleiner als 10% ist. Die Elektroden können hierbei flächenfüllend aus teiltransparentem Material

30

gebildet sein oder als Gitterelektroden wie oben dargestellt ausgebildet sein.

Bei einer Ausführungsform der Transmissionsfiltervorrichtung ist dieser  
5 eine Steuerungseinrichtung zur Erzeugung von unabhängig voneinander  
einstellbaren elektrischen Potentialdifferenzen zwischen jeweils einer  
der elektrisch voneinander getrennten ersten Elektroden der ersten  
Plattenfläche und mindestens einer zugeordneten Elektrode der zweiten  
Plattenfläche zugeordnet. Die Steuerungseinrichtung sollte hierzu derart  
10 ausgestaltet sein, dass eine der Anzahl der ersten Elektroden ent-  
sprechende Anzahl von variabel vorgebbaren Potentialen, z.B. durch  
mehrfache Spannungsteilung einer Maximalspannung, zur Verfügung  
gestellt werden kann. Jedes einzelne Potential sollte kontinuierlich  
zwischen einem Maximalwert und einem dem Massepotential entspre-  
15 chenden Minimalwert einstellbar sein.

Bei einer anderen Ausführungsform umfasst die Verzögerungseinrich-  
tung mindestens ein Verzögerungselement aus spannungsdoppelbre-  
chendem Material und eine Spanneinrichtung mit mindestens einem an  
20 dem Verzögerungselement angreifenden Aktuator zur variablen Einstel-  
lung eines vorgebbaren Spannungszustandes des Verzögerungsele-  
mentes gemäß einer vorgebbaren Ortsverteilung. Damit ist durch  
Aufbringung einer mechanischen Spannungsverteilung (Zug- und/oder  
Druckspannungen) eine ortsabhängige Verzögerungswirkung mit vor-  
25 gegebbarer Ortsverteilung am Verzögerungselement einstellbar. Vorzugs-  
weise ist nur ein einziges Verzögerungselement vorgesehen, insbe-  
sondere in Form einer im Wesentlichen planparallelen Platte. Das  
Verzögerungselement kann beispielsweise aus synthetischem Quarz-  
glas oder aus Kalziumfluorid bestehen. Durch geeignete Positionierung  
30 und Ansteuerung von Aktuatoren kann innerhalb des Verzögerungs-  
elementes eine ungleichmäßige Spannungsverteilung mechanischer  
Spannungen eingestellt werden, die zu lokalen Unterschieden in der

doppelbrechenden Wirkung des transparenten Verzögerungselementes führen. Im Gegensatz zu einer Zellenanordnung mit unabhängig voneinander ansteuerbaren, retardierend wirkenden Einzelzellen sind innerhalb eines ungleichmäßig verspannten Verzögerungselementes die lokal wirksamen Spannungen und damit die lokal auftretenden Doppelbrechungen miteinander gekoppelt, so dass in der Regel ein kontinuierlicher Verlauf der Verzögerungswirkung über den Querschnitt der Verzögerungseinrichtung erzielt wird. Man kann hier auch von untereinander gekoppelten, infinitesimal kleinen Zellen sprechen.

10

Bei einer Weiterbildung umfasst die Spanneinrichtung mindestens ein Aktuatorenpaar mit einem Paar von Aktuatoren, die bezogen auf eine Zentralachse des Verzögerungselementes diametral gegenüberliegend angeordnet sind. Hierdurch lassen sich auf einfache Weise Zug- oder Druckspannungen im Verzögerungselement erzeugen, die eine zur Zentralachse symmetrische Ortsverteilung haben. Es können mehrere unabhängig voneinander ansteuerbare Aktuatorenpaare vorgesehen sein, die beispielsweise eine Kreuzanordnung oder Sternanordnung von Aktuatoren bilden. Hierdurch können insbesondere Spannungsverteilungen bzw. Verzögerungsverteilungen eingestellt werden, die bezogen auf die Zentralachse eine mehrzählige Radialsymmetrie aufweisen, beispielsweise eine 2-zählige, 4-zählige, 6-zählige oder 8-zählige Radialsymmetrie.

20

25 Geeignete Spanneinrichtungen mit piezoelektrischen Aktuatoren zur Krafteinleitung sind beispielsweise in der WO 02/093257 A2 der Anmelderin offenbart. Die Offenbarung dieses Dokuments wird insoweit durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht.

30 Bei manchen Ausführungsformen wird eine zeitlich variable Verzögerungswirkung der Verzögerungseinrichtung dadurch erreicht, dass die Verzögerungseinrichtung beweglich gelagert ist und als Ganzes relativ

zu den übrigen Teilen der Transmissionsfiltervorrichtung bewegt, insbesondere rotiert wird. Diese Bewegung kann bezogen auf den Ort der transmittierten Strahlung zu einer zeitabhängigen Veränderung der Ortsverteilung der Verzögerungswirkung führen. Eine örtlich  
5 unterschiedliche Verzögerungswirkung der Verzögerungseinrichtung kann während der Bewegung der Verzögerungseinrichtung unverändert bleiben. Eine Überlagerung einer Bewegung der Verzögerungseinrichtung und einer zeitlichen Änderung der Ortsverteilung ihrer Verzögerungswirkung ist ebenfalls möglich. Bei einer Ausführungsform ist eine Rotiereinrichtung zur Drehung der Verzögerungseinrichtung um eine Rotationsachse vorgesehen, die vorzugsweise mit der optischen Achse eines die Transmissionsfiltervorrichtung enthal-  
10 tenden optischen Systemes am Ort der Transmissionsfiltervorrichtung zusammenfallen kann.

15 Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung einer zeitlich variablen Verzögerungswirkung einer Verzögerungseinrichtung am Ort der Transmissionsfiltervorrichtung besteht darin, eine erste Verzögerungseinrichtung mit einer ersten ortsabhängigen Verzögerungswirkung gegen  
20 mindestens eine zweite Verzögerungseinrichtung mit einer von der ersten Verzögerungswirkung unterschiedlichen zweiten ortsabhängigen Verzögerungswirkung auszutauschen, so dass sich durch den Austausch eine Veränderung der Ortsabhängigkeit der Verzögerungswirkung im wirksamen Bereich der  
25 Transmissionsfiltervorrichtung ergibt. Eine hierfür vorgesehene Wechseleinrichtung zum Austausch von Verzögerungseinrichtungen unterschiedlicher ortsabhängiger Verzögerungswirkung kann mit zwei oder mehr unterschiedlichen Verzögerungseinrichtungen bestückt sein, so dass je nach Bedarf eine beliebige Anzahl unterschiedlicher Ortsverteilungen der Verzögerungswirkung durch Austausch der Verzögerungseinrichtungen einstellbar ist.  
30

In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die Polarisationsfilteranordnung mindestens einen Dünnschichtpolarisator. Dünnschichtpolarisatoren lassen sich leicht herstellen und können auf einen Betrieb für Wellenlängen von weniger als 200 nm ausgelegt sein.

5

Bei einer Ausführungsform der Transmissionsfilteranordnung umfasst die Polarisationsfilteranordnung mindestens eine transparente Planplatte, welche bezüglich des auftreffenden Lichts im Wesentlichen unter dem Brewster-Winkel angeordnet ist. Unter dem Brewster-Winkel ist die Polarisationsaufspaltung zwischen senkrecht und parallel zur Einfallsebene der transparenten Planplatte polarisierten Licht besonders groß, so dass die Polarisationsfilterung mit hohem Wirkungsgrad einfach durchführbar ist.

10

15

Die beschriebenen Transmissionsfilteranordnungen sind besonders an polarisiertes Eintrittslicht angepasst. Bei einer Ausführungsform, die besonders an die Transmissionsfilterung von unpolarisiertem Licht angepasst ist, ist der Transmissionsfilteranordnung eine Polarisatoranordnung zugeordnet, die im Lichtweg vor der Verzögerungseinrichtung angeordnet ist, um aus unpolarisiertem Eintrittslicht eine mindestens teilweise polarisierte Eintrittslichtverteilung zu erzeugen, die auf die Verzögerungseinrichtung trifft. Hierzu kann ebenfalls ein Dünnschichtpolarisator vorgesehen sein. Sofern Lichtverluste vermieden werden sollen, können auch komplexe aufgebaute Polarisatoranordnungen genutzt werden, die unpolarisiertes Eintrittslicht weitgehend verlustfrei in polarisiertes Licht umwandeln.

20

25

30

Ein erfindungsgemäßes Beleuchtungssystem für eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes mit dem Licht einer primären Lichtquelle weist eine Pupillenformungseinheit zur Erzeugung einer vorgebbaren Lichtverteilung in einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems sowie mindestens eine Trans-

missionsfiltervorrichtung auf. Die Transmissionsfiltervorrichtung kann zur Herstellung einer orts- und zeitabhängigen Intensitätsfilterung des Beleuchtungslichts dienen. Sie kann als Teil der Pupillenformungseinheit in diese integriert sein, es ist jedoch auch eine Anordnung außerhalb der Pupillenformungseinheit möglich, z.B. im Lichtweg hinter der Pupillenformungseinheit oder nahe oder hinter der Pupillenfläche, deren Intensitätsverteilung mittels der Pupillenformungseinheit geformt wird.

In einer Weiterbildung des Beleuchtungssystems ist die Transmissionsfiltervorrichtung in oder in der Nähe einer Ebene mit geringer numerischer Apertur, vorzugsweise in oder in der Nähe einer Ebene mit numerischer Apertur  $< 0,1$ , besonders bevorzugt in oder in der Nähe einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems vorgesehen. Die Anbringung in einer Ebene mit geringer numerischer Apertur trägt zur Vermeidung von Lichtverlusten bei. Eine für die Anbringung der Transmissionsfiltervorrichtung geeignete Pupillenebene ist die Pupillenebene der von der Pupillenformungseinheit vorgegebenen Lichtverteilung.

Bei einer Ausführungsform des Beleuchtungssystems umfasst dieses keine Lichtmischeinheit zur Homogenisierung des Beleuchtungslichts. Insbesondere ist somit im Beleuchtungssystem weder ein Wabenkondensor noch eine Stabintegratoranordnung vorhanden. Die ortsabhängige Transmissionsfunktion der Transmissionsfiltervorrichtung kann in einem solchen Beleuchtungssystem zur Homogenisierung der Beleuchtungsstrahlung ausgelegt sein.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist eine mit der Steuerungseinrichtung und der Pupillenformungseinheit verbundene Regelungseinheit zur Abstimmung der ortsabhängigen Intensitätsfilterung auf die vorgebbare Lichtverteilung in der Pupillenebene vorgesehen. Die Transmissionsfiltervorrichtung kann hierbei z.B. in der Pupillenebene, in der die Pupillenformungseinheit die vorgebbare Lichtverteilung erzeugt, oder in einer

anderen Pupillenebene, z.B. in einem Abbildungsobjektiv des Beleuchtungssystems, angeordnet sein.

Die Erfindung umfasst auch ein Belichtungsverfahren zur Belichtung  
5 eines im Bereich einer Bildebene eines Projektionsobjektivs angeordneten Substrates mit mindestens einem Bild eines im Bereich einer Objektebene des Projektionsobjektivs angeordneten Musters einer Maske mit:  
Beleuchten des Musters mit Beleuchtungsstrahlung eines erfindungsgemäßen Beleuchtungssystems zur Erzeugung einer durch das Muster  
10 veränderten Strahlung; Durchstrahlen des Projektionsobjektivs mit der durch das Muster veränderten Strahlung zur Erzeugung einer auf das Substrat gerichteten Ausgangsstrahlung, wobei die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung in der Objektebene des Projektionsobjektivs mit der Transmissionsfiltervorrichtung ortsabhängig und zeitabhängig  
15 variabel eingestellt wird. Die Transmissionsfiltervorrichtung kann zur Beeinflussung der Winkelverteilung der Beleuchtungsstrahlung in der Objektebene in oder in der Nähe einer zur Objektebene fouriertransformierten Pupillenebene angeordnet werden, da eine ortsabhängige Intensitätsfilterung in dieser Ebene eine winkelabhängige Intensitäts-  
20 filterung in der dazu konjugierten Feldebene erzeugt. Unter einer winkelabhängigen Intensitätsfilterung wird hier die Abschwächung der unter solchen Winkeln auf die Feldebene auftreffenden Beleuchtungsstrahlen bezeichnet, die von Orten hoher Intensitätsfilterung in der Pupillenebene ausgehen.

25 Bei einer Weiterbildung des Belichtungsverfahrens wird zunächst am Pupillenformungselement eine erste Lichtverteilung eingestellt und an der Transmissionsfiltervorrichtung eine zugeordnete erste ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen und danach wird am Pupillenformungselement mindestens eine zweite Lichtverteilung eingestellt und an  
30 der Transmissionsfiltervorrichtung eine zweite ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen. Der Wechsel kann in Abhängigkeit von den



abzubildenden Maskenstrukturen gesteuert werden. Die Intensitätsfilterung der Transmissionsfiltervorrichtung wird dabei an die jeweils mit dem Pupillenformungselement eingestellte Lichtverteilung angepasst, beispielsweise so, dass für jedes Beleuchtungssetting ein vorgesehener Wert für die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung (Uniformity) erreicht oder unterschritten wird.

In einer Ausführungsform des Belichtungsverfahrens wird die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung mit der Steuerungseinrichtung zur Erzeugung einer Homogenisierungswirkung auf den minimalen Intensitätswert der Eintrittslichtverteilung eingestellt. Durch diese Maßnahme kann die Winkelverteilung in der Objektebene der Projektionsobjektivs bei minimalen Lichtverlusten homogenisiert werden, so dass die Abbildungsqualität verschlechternde Effekte, wie z.B. Elliptizität, vermieden werden können.

Die vorstehenden und weiteren Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei Ausführungsformen der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können.

Fig. 1 zeigt eine schematische Seitenansicht einer Ausführungsform einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einem Beleuchtungssystem mit einer Transmissionsfiltervorrichtung,

Fig. 2 zeigt schematisch eine Seitenansicht der Transmissionsfiltervorrichtung von Fig. 1 mit einer Zellenanordnung und einer Polarisationsfilteranordnung,

Fig. 3 zeigt eine schematische Zeichnung zur Erklärung des Funktionsprinzips der Transmissionsfiltervorrichtung von Fig. 2 anhand einer Zelle der Zellenanordnung und eines zugeordneten Polarisationsfilters,

5

Fig. 4 zeigt eine Draufsicht auf eine erste Seite der Zellenanordnung von Fig. 2 mit einer Mehrzahl von Elektroden,

10

Fig. 5 zeigt eine Seitenansicht der Zellenanordnung von Fig. 1 mit elektrischen Feldlinien,

Fig. 6 zeigt eine Draufsicht auf eine Ausführungsform einer Elektrode als Gitterelektrode,

15

Fig. 7 zeigt eine schematische Perspektivansicht einer anderen Ausführungsform einer Transmissionsfiltervorrichtung, bei der gezielt verspanntes doppelbrechendes Material zur Erzeugung einer ortsabhängig variierenden Verzögerungswirkung eines Verzögerungselementes genutzt wird,

20

Fig. 8 zeigt eine schematische Seitenansicht wesentlicher Elemente einer solchen Transmissionsfiltervorrichtung zur Erläuterung der ortsabhängigen Intensitätsfilterung,

25

Fig. 9 zeigt eine schematische, axiale Draufsicht auf ein im Querschnitt rundes Verzögerungselement, das mit Hilfe von am Umfang angreifenden Aktuatoren einer Spanneinrichtung gezielt mechanisch verspannt ist, und

30

Fig. 10 zeigt verschiedene, durch die Transmissionsfilteranordnung erzielbare örtliche Transmissionsverteilungen.

In Fig. 1 ist ein Beispiel einer Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage 1 gezeigt, die bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen feinstrukturierten Bauteilen einsetzbar ist und zur Erzielung von Auflösungen bis zu Bruchteilen von Mikrometern mit Licht aus dem tiefen Ultraviolettbereich arbeitet. Als Lichtquelle 2 dient ein ArF-Excimer-Laser mit einer Arbeitswellenlänge von ca. 193nm, dessen Lichtstrahl coaxial zur optischen Achse 3 des Beleuchtungssystems ausgerichtet ist. Andere UV-Lichtquellen, beispielsweise F<sub>2</sub>-Excimer-Laser mit 157nm Arbeitswellenlänge, KrF-Excimer-Laser mit 248nm Arbeitswellenlänge oder Quecksilberdampflampen mit 368nm bzw. 436nm Arbeitswellenlänge oder Lichtquellen mit Wellenlängen unterhalb 157nm sind ebenfalls möglich.

Das linear polarisierte Licht der Lichtquelle 2 tritt zunächst in einem Strahlaufweiter 4 ein, der beispielsweise als Spiegelanordnung gemäß der DE 41 24 311 ausgebildet sein kann und zur Kohärenzreduktion und Vergrößerung des Strahlquerschnitts dient. Ein als Strahlformungselement dienendes, erstes diffraktives optisches Rasterelement 5 ist in der Objektebene 6 eines im Strahlengang dahinter angeordneten Objektivs 7 angeordnet, das als variabel einstellbarer Teil einer Pupillenformungseinheit ausgelegt ist, die eine vorgebbare Lichtverteilung in seiner Bildebene bzw. Austrittspupille 8 erzeugt. Dort ist ein refraktives zweites optisches Rasterelement 9 angeordnet, welches ebenfalls als Strahlformungselement dient. Eine dahinter angeordnete Einkoppeloptik 10 überträgt das Licht auf eine Zwischenfeldebene 11, in der ein Reticle/Masking-System (REMA) 14 angeordnet ist, welches als verstellbare Feldblende dient. Eine Homogenisierung der Beleuchtungsstrahlung kann durch eine in der Nähe der Feldzwischenebene 11, leicht axial versetzt zum REMA-System 14 positionierte Blendeneinheit erzeugt werden, die so gestaltet oder einstellbar ist, dass sie bestimmte Randbereiche der Lichtverteilung in einer solchen Weise abschirmt, dass in Verbindung mit der integrierenden Wirkung des Scanprozesses

eine weitgehend homogene Beleuchtung des Retikels 50 ermöglicht wird. Eine hierfür geeignete Einrichtung aus stabförmigen „Fingerblenden“ die dynamisch und unabhängig voneinander in ein Feld eingefahren werden können, ist in der Patentanmeldung EP 1 020 769 A2  
5 gezeigt, deren Inhalt durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht wird.

Das nachfolgende Abbildungsobjektiv 15 bildet die Zwischenfeldebene mit dem Maskierungssystem 14 auf das Retikel 50 (Maske, Lithographievorlage) in einem Maßstab ab, der z.B. in einem Intervall von 2:1 bis  
10 1:5 gewählt werden kann und vorzugsweise bei ca. 1:1 liegt. Das Abbildungsobjektiv 15 enthält eine erste Linsengruppe 17, eine Pupillenzwischenebene 18, eine zweite und eine dritte Linsengruppe 19 bzw. 20 und dazwischen einen Umlenkspiegel 21, der es ermöglicht, die große  
15 Beleuchtungseinrichtung (ca. 3m Länge) horizontal einzubauen und das Retikel 50 waagrecht zu lagern.

Hinter dem Beleuchtungssystem ist eine Einrichtung 52 zum Halten und Manipulieren des Retikels 50 so angeordnet, dass das Retikel in der  
20 Objektebene eines Projektionsobjektivs 51 liegt und in dieser Ebene zum Scannerbetrieb in einer Scanrichtung (y-Richtung) mit Hilfe eines Scanantriebs bewegbar ist.

Hinter der Maskenebene 53 folgt das Projektionsobjektiv 51, das als  
25 Reduktionsobjektiv wirkt und ein Bild eines an der Maske angeordneten Musters in reduziertem Maßstab, beispielsweise im Maßstab 1:4 oder 1:5, auf einen mit einer Photoresistschicht bzw. Photolackschicht belegten Wafer 54 abbildet, der in der Bildebene 55 des Reduktionsobjektivs angeordnet ist. Es sind refraktive oder katadioptrische Projektions-  
30 objektive möglich. Andere Reduktionsmaßstäbe, beispielsweise stärkere Verkleinerungen bis 1:20 oder 1:200 sind möglich. Der Wafer 54 wird durch eine Einrichtung 56 gehalten, die einen Scannerantrieb umfasst,

- 19 -

um den Wafer synchron mit dem Retikel 50 parallel zu diesem zu bewegen. Alle Systeme werden von einer Steuereinheit 57 gesteuert.

Im Beleuchtungssystem 1 ist in der Nähe der Pupillenebene 18 des  
5 Abbildungsobjektivs 15 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen  
Transmissionsfiltervorrichtung 22 angeordnet, die eine Zellenanordnung  
23 sowie eine Polarisationsfilteranordnung 24 aufweist. Eine elektrische  
Steuerungseinrichtung 60 zur Erzeugung von Potentialdifferenzen an  
der Zellenanordnung 23 ist mit dieser und mit einer Regeleinheit 59  
10 verbunden, welche die räumliche Intensitätsfilterungswirkung der Trans-  
missionsfiltervorrichtung 22 auf die mit Hilfe des Objektivs 7 erzeugbare  
Lichtverteilung (Beleuchtungssetting) abstimmt.

Die Anordnung der Transmissionsfilteranordnung 22 in der Pupillen-  
15 ebene des Abbildungsobjektivs 15 stellt nur eine Positionierungsmög-  
lichkeit dar. Es ist alternativ oder zusätzlich auch möglich, die Trans-  
missionsfilteranordnung 22 in einer Pupillenebene des Objektivs 7 oder  
in deren Nähe anzuordnen.

20 Die Zellenanordnung 23 der in Fig. 2 in einer schematischen Seiten-  
ansicht gezeigten Transmissionsfiltervorrichtung 22 weist einen als  
kreisförmige Platte ausgelegten nichtlinearen optischen Kristall 63 auf,  
der aus Kaliumhydrogenphosphat (KDP) besteht und eine Dicke von ca.  
1 bis 2mm sowie einen Durchmesser von ca. 100mm aufweist. Auf einer  
25 als Lichteintrittsfläche dienenden zweiten Plattenfläche 64 ist eine zweite  
Elektrode 62 angebracht, die im Wesentlichen die gesamte zweite  
Plattenfläche des nichtlinearen Kristalls 63 überdeckt. Auf einer als  
Lichtaustrittsfläche dienenden, ersten Plattenfläche 65 ist eine Mehrzahl  
von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden 61 angebracht.  
30 Fig. 4 zeigt eine Draufsicht auf diese erste Plattenfläche 65 der Zellen-  
anordnung 23 von Fig. 2 mit der Mehrzahl von ersten Elektroden 61. Die  
Elektroden sind in einer Rasteranordnung von 5 mal 5 quadratischen

Elektroden und vier zusätzlichen, in der Mitte jeder Kante der Rasteranordnung angebrachten Elektroden auf der kreisförmigen Plattenfläche 65 des Kristalls 63 angeordnet. Die lateralen Abstände  $p$  zwischen den benachbarten Elektroden 61 sind hierbei so gewählt, dass bei Anlegen einer Spannung die elektrischen Felder zwischen benachbarten Elektroden sich nicht gegenseitig beeinflussen, so dass die Verzögerungswirkung jeder Zelle unabhängig eingestellt werden kann (vgl. Fig. 5).

10 Der Zellenanordnung 23 ist eine Steuerungseinrichtung 60 zugeordnet, die zur Einstellung von unabhängig voneinander stufenlos einstellbaren elektrischen Potentialdifferenzen zwischen jeweils einer der Mehrzahl von ersten Elektroden 61 und der zweiten Elektrode 62 ausgelegt ist.

15 Die Polarisationsfilteranordnung 24 weist im vorliegenden Fall vier schräg zur optischen Achse 3 geneigte, plane Dünnschichtpolarisatoren 66 bis 69 auf, von denen jeweils ein Paar 66, 67 und 68, 69 zusammen mit der Plattenebene des nichtlinearen Kristalls ein Dreieck bilden. Die Polarisationsfilteranordnung 24 sowie die Zellenanordnung 23 über-  
20 decken jeweils den gesamten Bereich, der von einer Eintrittslichtverteilung einer Beleuchtungsstrahlung BS überdeckt wird.

Abweichend von der schematischen Darstellung in Fig. 2 sind bei bevorzugten Ausführungsformen die Dünnschichtpolarisatoren so an-  
25 geordnet, dass die Einfallswinkel der zur optischen Achse parallelen Strahlung zwischen ca.  $65^\circ$  und ca.  $75^\circ$  liegen. Dadurch können relativ einfache einfach aufgebaute Dünnschichtpolarisatoren mit hohem Polarisationsselektions-Wirkungsgrad genutzt werden. Alternativ oder zusätzlich zu Dünnschichtpolarisatoren können auch andere polarisa-  
30 tionsaufspaltende optische Elemente zum Einsatz kommen, beispielsweise Strahlteilerwürfel mit einer beidseitig von transparentem Material umgebenen Strahlteilerschicht. Da solche Schichten für Einfallswinkel

um  $45^\circ$  (Nähe des Brewster-Winkels) optimiert sein können, können mit Strahlteilerwürfeln aufgebaute Polarisationsfilteranordnungen in Durchstrahlungsrichtung kurz gebaut sein, wodurch Bauraum in z-Richtung gespart werden kann. Der Brewster-Winkel liegt für einen Übergang von Luft auf Glas bei etwa  $57^\circ$  und für einen Übergang von Glas auf Luft bei etwa  $33^\circ$ .

Fig. 3 zeigt das Funktionsprinzip der Transmissionsfiltervorrichtung anhand eines Ausschnitts von Fig. 2 mit einem Elektrodenpaar bestehend aus einer ersten Elektrode 161 und einer zweiten Elektrode 162, die zusammen mit dem dazwischenliegenden, nichtlinearen optischen Kristall 163 eine Zelle 123 der Rasteranordnung von Fig. 4 bilden, und einem Dünnschichtpolarisator 166. Elementen von Fig. 2 entsprechende Elemente von Fig. 3 sind mit um hundert erhöhten Bezugszeichen versehen. Die Steuerungsvorrichtung 160 erzeugt eine Potentialdifferenz zwischen der zweiten Elektrode 161 einer zweiten Plattenfläche 164 der Zelle 123 und der ersten Elektrode 162 der ersten Plattenfläche 165. Ein parallel zur Einfallsebene des Dünnschichtpolarisators 166 polarisierter Lichtstrahl 150 mit elektrischem Feldstärkevektor  $E_p$  tritt an der zweiten Plattenfläche 164 in den nichtlinearen optischen Kristall ein und durchläuft diesen, wobei er eine der angelegten Spannung proportionale Verzögerungswirkung erfährt, so dass er von linear polarisiertem in elliptisch polarisiertes Licht umgewandelt wird. Nach dem Austritt aus der Zelle an der Lichtaustrittsfläche 165 weist der Lichtstrahl 150 daher eine Komponente  $E_s$  des elektrischen Feldstärkevektors senkrecht zur Einfallsebene auf den Dünnschichtpolarisator 166 auf, wodurch die Amplitude der parallel polarisierten Komponente sich auf  $|E_p'| < |E_p|$  verringert. Der senkrecht zur Einfallsebene polarisierte Teil des Strahls 150 wird am Dünnschichtpolarisator 166 reflektiert und dabei um  $90^\circ$  abgelenkt, während der parallel zur Einfallsebene polarisierte Lichtanteil  $E_p'$  den Dünnschichtpolarisator 166 ohne Ablenkung durchläuft. Der reflektierte Teil des

Strahls wird anschließend an einem zweiten, nicht in Fig. 3 gezeigten Dünnschichtpolarisator reflektiert, so dass er in Richtung auf die Zellenanordnung 23 umgelenkt wird und nicht zu Bildung von Streulicht beiträgt (vgl. Lichtstrahl 150' in Fig. 2). Durch die Auskopplung des senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Lichtanteils am Dünnschichtpolarisator 166 nimmt die Intensität (proportional  $E^2$ ) des transmittierten Beleuchtungsstrahls 150 von  $(E_p)^2$  auf  $(E_p)^2$  ab. Das Ausmaß dieser Intensitätsabnahme ist durch Einstellung der Potentialdifferenz  $U$  an der Steuerungseinrichtung 160 stufenlos beeinflussbar, da diese die Verzögerungswirkung der Zelle 123 vorgibt.

Anstelle von Dünnschichtpolarisatoren können auch unter dem Brewster-Winkel angeordnete, transparente Planplatten zur Polarisationsfilterung eingesetzt werden, sofern die Polarisationsverteilung nach der Transmissionsfiltervorrichtung keine Rolle spielt. Vorteilhaft hieran ist, dass die Transmissionsfiltervorrichtung in diesem Fall auch zur Intensitätsreduktion von Lichtverteilungen mit vergleichsweise hoher numerischer Apertur von mehr als 0,1 eingesetzt werden kann, da Planplatten im Gegensatz zu den Dünnschichtpolarisatoren eine große Winkelakzeptanz aufweisen.

Die elektrooptische Konstante von KDP beträgt 10,3 pm/V. Bei einer Kristallbrechzahl von  $n_o = 1,5$  wird bei 193nm Wellenlänge die Wirkung einer Phasenverzögerung von  $\lambda/4$  bei etwa 1,3 kV Spannung zwischen den ersten und den zweiten Elektroden erreicht. Bei dieser Verzögerung wird bereits eine Intensitätsverringerung von 50% mit der Transmissionsfiltervorrichtung ermöglicht, da hierdurch linear polarisiertes Eingangslicht in zirkular polarisiertes Ausgangslicht ( $|E_p| = |E_s|$ ) transformiert wird.

Die in Fig. 2 gezeigte Vorrichtung weist zur Erzeugung einer ortsabhängigen Intensitätsverteilung eine Mehrzahl von Zellen, bestehend aus



jeweils einer zweiten Elektrode 61 und einem Teilbereich der ersten Elektrode 62 auf, die nach dem hier erläuterten Funktionsprinzip arbeiten und unabhängig voneinander von der Steuerungseinrichtung 160 angesteuert werden können, da sich die Feldlinien benachbarter Zellen nicht überlappen. Zur Verdeutlichung dieser Tatsache zeigt Fig. 5 eine Seitenansicht eines Ausschnitts der Zellenanordnung 62 von Fig. 2, bei dem die im Betrieb der Zellenanordnung 62 auftretenden elektrischen Feldlinien gezeigt sind. Der Ausschnitt zeigt eine erste und eine zweite Elektrode 61a, 61b der Mehrzahl von Elektroden 61, einen Ausschnitt der zweiten Elektrode 62 sowie einen Teil des nichtlinearen optischen Kristalls 63. Die Mehrzahl der ersten Elektroden sind in einem Abstand  $p = 2\text{mm}$  voneinander auf der ersten Plattenfläche 65 aufgebracht, der groß ist im Vergleich zur Plattendicke  $d = 1\text{mm}$ . Vorzugsweise sollte die Bedingung  $p > 2 \cdot d$ ,  $p > 4 \cdot d$  oder  $p > 5 \cdot d$  eingehalten werden, um ein „Übersprechen“ zwischen benachbarten Zellen zu vermeiden. Zur Veranschaulichung der Unabhängigkeit der von der ersten und der zweiten Elektrode 61a, 61b erzeugten elektrischen Felder sind die Feldlinien 71 der Felder zwischen den ersten Elektroden 61a, 61b und der zweiten Elektrode 62 eingezeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Feldlinien der ersten und der zweiten Elektrode nicht überlappen, da der Abstand  $p$  der Elektroden im Vergleich zur Dicke  $d$  der Platte hinreichend groß gewählt ist.

Jede einzelne Elektrode 61 besteht aus einem elektrisch leitenden Material, das partiell lichtdurchlässig ist und so dünn ist, dass ein erheblicher Teil der Beleuchtungsstrahlung vom Elektrodenmaterial transmittiert wird. Im Beispiel bestehen die Elektroden aus Chrom, das mit einer Schichtdicke zwischen ca. 10nm und 40nm auf die Platte aufgebracht ist. Die Elektroden 61 sind mit abgerundeten Ecken zur Vermeidung von hohen, gegebenenfalls eine Materialdegradation an der Oberfläche des nichtlinearen optischen Kristalls auslösenden Feldstärken (an Materialspitzen) versehen. Fig. 6 zeigt eine Draufsicht auf eine

Ausführungsform einer solchen Elektrode als Gitterelektrode 70. Diese weist parallele Stege 72 auf, die eine Breite  $b$  aufweisen, die so gewählt werden kann, dass ein Großteil der Elektrodenfläche aus einem nicht mit einem Steg bedeckten und daher für die Beleuchtungsstrahlung transparenten Flächenanteil besteht. Der Abstand benachbarter Stege ist klein gegen die Plattendicke  $p$ . Bei dieser Ausführungsform der Elektrode wird die Dichte der elektrischen Feldlinien im Kristallvolumen entsprechend der Größe des transparenten Flächenanteils im Vergleich zu einer vollständig mit leitendem Material überzogenen Elektrode herabgesetzt. Weist die Elektrode z.B. einen Anteil von 10% leitfähigen Materials im Vergleich zur Gesamtfläche der Elektrode auf, benötigt man daher eine um ca. einen Faktor 10 höhere Potentialdifferenz zur Erzeugung einer identischen Verzögerungswirkung im Vergleich mit einer vollständig aus leitendem Material bestehenden Elektrode. Da die Pockels-Zellenanordnung stromlos arbeitet, stellt das Einstellen von hohen Spannungsdifferenzen jedoch kein prinzipielles Problem dar. Der Transmissionsverlust bei einer Überdeckung der Elektrodenfläche von 10% mit Metallstegen 72 liegt zwischen 10% und 20% der eingestrahnten Lichtintensität. Voraussetzung hierfür ist, dass die Metallstege von ersten und zweiten Elektroden deckungsgleich auf dem Kristall angeordnet sind, was auch Vignettierungsverlusten vorbeugt. Es versteht sich, dass auch andere als die hier gezeigten Elektrodengeometrien sich als vorteilhaft erweisen können, wie z.B. Kreuzgitter, und dass insbesondere die Elektroden 61 von Fig. 2 wie in Fig. 6 gezeigt ausgebildet sein können. Die Elektroden 61 sind zur Vermeidung von Lichtverlusten mit einer Antireflexschicht versehen.

Bei Verwendung der Transmissionsfiltervorrichtung im Beleuchtungssystem von Fig. 1 kann neben der Homogenisierung der Intensität des Beleuchtungslichts auch eine partielle Depolarisation des Beleuchtungslichts aufgehoben werden, die von zwischen dem Laser 2 und der Transmissionsfiltervorrichtung 22 angeordneten optischen Elementen 7,

10, 17 erzeugt wird, da nach diesem wieder vollständig linear polarisiertes Licht vorliegt. Es ist auch möglich zur Erhöhung der Ortsauflösung eine Mehrzahl von Zellenanordnungen hintereinander anzuordnen (Kaskade).

5

Die räumliche Intensitätsfilterwirkung der Transmissionsfiltervorrichtung 22 von Fig. 1 kann auf die mit Hilfe des einstellbaren Teils 7 der Pupillenformungseinheit erzeugbare Lichtverteilung (Beleuchtungssetting) abgestimmt werden. Hierzu kann zunächst am einstellbaren Teil  
10 der Pupillenformungseinheit 7 eine erste Lichtverteilung, z.B. ein konventionelles Beleuchtungssetting zur Erzeugung von grob strukturierten Halbleiterstrukturen eingestellt werden und an der Transmissionsfiltervorrichtung 22 eine erste ortsabhängige Intensitätsfilterung zur Homogenisierung der Lichtverteilung vorgenommen werden. Danach  
15 kann am einstellbaren Teil des Pupillenformungseinheit 7 eine zweite Lichtverteilung, z.B. eine Dipol- oder Quadrupolverteilung zur Erzeugung fein strukturierter Halbleiterstrukturen eingestellt werden, und danach eine zweite, an dieses Beleuchtungssetting angepasste, ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen werden.

20

Die durch die Pockels-Zellen gebildete Zellenanordnung, die in Transmission betreibbar ist und zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht der Eintrittslichtverteilung dient und die zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung elektrisch ansteuerbar ist, kann auch ohne nachgeschaltete Polarisationsfilteranordnung in Projektionsbelichtungsanlagen für die Mikrolithografie und auf anderen Gebieten genutzt werden. Sie arbeitet dann als Verzögerungsanordnung zur ortsabhängigen Einstellung von lokal unterschiedlichen Verzögerungen an einer Eintrittslichtverteilung. Solche  
25 Verzögerungsanordnungen können zur Umwandlung eines von einer Eingangsseite der Verzögerungsanordnung auftreffenden Eingangsstrahlungsbündels in ein Ausgangsstrahlungsbündel genutzt werden, welches  
30

über seinen Querschnitt eine durch die Verzögerungsanordnung beeinflussbare räumliche (örtliche) Verteilung von Polarisationszuständen aufweist, die sich von der räumlichen Verteilung von Polarisationszuständen der Eingangsstrahlung unterscheidet. Durch die unabhängige elektrische Ansteuerung der einzelnen Zellen können in weiten Grenzen beliebige örtliche Verzögerungsverteilungen eingestellt werden. Mögliche Anwendungen von Verzögerungsanordnungen mit über ihren Querschnitt örtlich variierender Verzögerungswirkung sind beispielsweise im Patent EP 0 764 858 B1 der Anmelderin oder der DE 101 24 808 (entsprechend US 2002/0176166 A1) der Anmelderin offenbart. Der Inhalt dieser Anmeldungen wird durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht.

Anhand der Figuren 7 bis 10 wird eine andere Ausführungsform einer Transmissionsfilteranordnung beschrieben, die z.B. anstelle der in Fig. 1 gezeigten Transmissionsfilteranordnung 22 in der Pupillenebene des Objektivs 7 oder in deren Nähe angeordnet sein kann. Unabhängig von dieser Anwendung ist die Transmissionsfilteranordnung auch an anderer Stelle des Beleuchtungssystems, beispielsweise im Bereich einer Feldebene des Beleuchtungssystems, oder in anderen Gebieten außerhalb von Projektionsbelichtungsanlagen der Mikrolithografie verwendbar. Diese Ausführungsform nutzt die Möglichkeit, innerhalb eines spannungsdoppelbrechenden Materiales eine örtlich variierende Spannungsverteilung mit lokal unterschiedlichen mechanischen Spannungszuständen zu erzeugen, wodurch eine ortsabhängige Verzögerungswirkung erzeugt wird, die in Verbindung mit einer nachfolgenden Polarisationsfilterung zu einer ortsabhängigen Transmissionsfilterung führt.

Anhand von Fig. 7 wird zunächst das Grundprinzip erläutert. Die Transmissionsfiltervorrichtung 710 weist eine in Transmission betriebene Verzögerungseinrichtung 720 und eine im Lichtweg dahinter angeordnete Polarisationsfilteranordnung 730 auf. Eine im Lichtweg vor der Verzögerungseinrichtung 720 angeordnete Polarisationsfilteranordnung 740 ist ebenfalls in der Fig. 7 dargestellt.

rungsanordnung angeordnete Polarisatoreinrichtung 740 kann optional vorgesehen sein, um aus unpolarisiert auftreffendem Licht eine auf die Verzögerungsanordnung treffende Eintrittslichtverteilung mit polarisiertem Licht zu erzeugen. Ist das zu filternde Licht bereits polarisiert, kann  
5 auf die Polarisatoranordnung 740 verzichtet werden.

Die Verzögerungseinrichtung besteht aus einem einzigen, den gesamten Querschnitt der Transmissionsfilteranordnung abdeckenden Verzögerungselement 721 aus spannungsdoppelbrechendem Material. Bei  
10 Materialien mit Spannungsdoppelbrechung (SDB) kann bekanntlich durch Aufbringen einer äußeren Kraft  $F$  ein mechanischer Spannungszustand erzeugt werden, bei dem das verspannte Material Doppelbrechung aufweist. Dabei erhalten die Komponenten  $E_{\sigma_1}$  und  $E_{\sigma_2}$  des elektrischen Feldes  $E$  in den Hauptspannungsrichtungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$   
15 durch die Doppelbrechung einen Phasenunterschied  $\delta$ , der gemäß  $\delta = \lambda/C(\sigma_1 - \sigma_2)$  direkt proportional zur Hauptspannungsdifferenz ( $\sigma_1 - \sigma_2$ ) ist. Dabei ist  $\lambda$  die verwendete Wellenlänge und  $C$  eine die Spannungsdoppelbrechung beschreibende Materialkonstante. Nur bei Phasenunterschieden  $\delta = n \cdot \lambda$  mit  $n = 0, 1, 2, \dots$  bleibt der Polarisationszustand  
20 der einfallenden Welle nach Durchtritt durch das spannungsdoppelbrechende Material erhalten, in allen anderen Fällen ergibt sich eine Änderung des Polarisationszustandes.

Da die Spannungszustände im Material lokal durch geeignete Wahl der  
25 wirkenden Kräfte beeinflusst werden können, ist der Phasenzustand der Strahlung nach Durchtritt durch das Verzögerungselement auch ortsabhängig. Durch die nachgeschaltete Polarisationsfilteranordnung 730 wird die Strahlung entsprechend dem lokalen Polarisationszustand hinter dem Verzögerungselement absorbiert, wodurch die gewünschte Transmissionsfilterung mit ortsabhängig variierender Filterwirkung entsteht.  
30 Durch entsprechende Wahl der Parameter Spannungsstärke (bestimmt durch die auf das Material wirkende Kraft  $F$ ) und Verteilung der Angriffs-

punkte der Kraft sowie durch Art und Form des spannungsdoppelbrechenden Materials lässt sich gezielt die Ortsverteilung der Strahlungsintensität hinter der Transmissionsfilteranordnung ortsabhängig (über den Querschnitt der durchtretenden Strahlung) manipulieren. Dies ist in Fig. 8 schematisch dargestellt. Gezeigt sind zwei an unterschiedlichen Stellen der Transmissionsfilteranordnung durch diese parallel zur Zentralachse 725 hindurchtretende Strahlen 751, 752, die vor Auftreffen auf das Verzögerungselement 721 den gleichen Polarisationszustand mit linearer Polarisation haben. Durch Aufbringen der externen Kraft F am Verzögerungselement 721 entstehen an den Durchtrittsorten der Strahlen 751, 752 unterschiedliche mechanische Spannungszustände, so dass für den Strahl 751 ein Phasenunterschied  $\delta_1$  und für den Strahl 752 ein davon verschiedener Phasenunterschied  $\delta_2$  der Komponenten des elektrischen Feldvektors entsteht. Die im Lichtweg hinter dem Verzögerungselement 721 nun lokal unterschiedlich polarisierten Strahlen werden durch die als Dünnschichtpolarisator ausgelegte Polarisationsfilteranordnung 730 unterschiedlich stark absorbiert, so dass die Strahlen 751', 752' nach Durchtritt durch die Polarisationsfilteranordnung 730 lokal unterschiedliche Intensität haben.

Es ist ersichtlich, dass z.B. je nach Wahl der Angriffspunkte der externen Kraft und/oder der Form des Verzögerungselementes sowohl symmetrische, als auch asymmetrische Absorptionsverteilungen der Transmissionsfilteranordnung eingestellt werden können. In dem für Anwendung und im Mikrolithografiebereich besonders interessierenden Wellenlängenbereich unterhalb von 200 nm, beispielsweise für 193 nm oder 157 nm, kann Kalziumfluorid als hochtransparentes, spannungsdoppelbrechendes Material verwendet werden. Gegebenenfalls ist auch Quarzglas verwendbar, insbesondere für 193 nm Wellenlänge.

In Fig. 9 ist eine axiale Draufsicht auf eine Ausführungsform einer Transmissionsfilteranordnung 910 gezeigt, die anstelle der Transmissions-

filteranordnung 22 im Bereich der Pupillenfläche des Abbildungsobjektivs 15 aus Fig. 1 eingebaut sein kann. Die Verzögerungseinrichtung besteht aus einer dünnen Platte 920 aus Kalziumfluorid mit kreisrundem Querschnitt, die innerhalb einer Fassung 940 gefasst ist. In Blickrichtung dahinter befindet sich ein Dünnschichtpolarisator. Dem Verzögerungselement 920 ist eine Spanneinrichtung 930 zur gezielten mechanischen Spannung des Verzögerungselementes zugeordnet. Diese umfasst im Beispielsfall acht gleichmäßig um den Umfang der Verzögerungsplatte 920 verteilte Aktuatoren 931 bis 938, die jeweils am Rand der Verzögerungsplatte außerhalb des optisch genutzten Bereiches in Radialrichtung wirkend angreifen. Die Aktuatoren bilden vier Aktuatorenpaare mit jeweils zwei diametral zur Zentralachse 925 gegenüber liegenden Aktuatoren. Dadurch können innerhalb der Verzögerungsplatte 920 verschiedene Ortsverteilungen von lokalen Spannungszuständen erzeugt werden, die radialsymmetrisch zur Zentralachse 925 sind. Die Aktuatoren eines Aktuatorenpaares sind so ausgelegt, dass sie auf das Verzögerungselement jeweils eine radiale Druckspannung ausüben, die symmetrisch zu einer Ebene liegt, die senkrecht zur Verbindungsgeraden der Angriffspunkte der Aktuatoren liegt. In Fig. 9 ist beispielhaft eine Spannungsverteilung gezeigt, wobei innerhalb des Verzögerungselementes lokale Spannungen existieren, die proportional zur Helligkeit der Bereiche in der Darstellung sind. Hierdurch ist beispielsweise erkennbar, dass das Aktuatorenpaar 931, 932 und das im rechten Winkel dazu ausgerichtete Aktuatorenpaar 933, 934 im Wesentlichen die gleiche Druckspannung in das Verzögerungselement einbringen, während die dazwischen liegenden Aktuatorenpaare 935, 936 und 937, 938 hiervon und auch im Vergleich zueinander unterschiedliche Druckspannungen einbringen. Dadurch wird insgesamt eine örtliche Spannungsverteilung mit zweizähliger Radialsymmetrie erzeugt. Durch geeignete Wahl der Kräfte  $F_1$  bis  $F_n$  lassen sich die unterschiedlichsten Spannungszustände im Verzögerungselement und somit unterschied-

liche Transmissionszustände erzeugen. Hierbei sind auch periodische Modulationen denkbar.

In Fig. 10 sind verschiedene Transmissionsverteilungen der Transmissionsfilteranordnung schematisch dadurch dargestellt, dass Bereiche größerer Transmission hell und Bereiche geringerer Transmission dunkler erscheinen. In der linken Teilfigur (a) ist eine Transmissionsverteilung gezeigt, die sich dann ergibt, wenn nur Phasenverzögerungen aus dem Bereich  $0 < \delta < \pi$  eingestellt werden. Im Beispielsfall entstehen zwei sich kreuzende Bereiche geringerer Transmission, zwischen denen in vier um jeweils  $90^\circ$  gegeneinander versetzten Randbereichen der Verzögerungsplatte Bereiche mit größerer Transmission liegen. Die rechte Teilfigur (b) zeigt ein Beispiel für eine Transmissionsverteilung, die sich dann ergibt, wenn Phasenverzögerungen höherer Ordnungen im Bereich  $0 < \delta < 4\pi$  eingestellt werden. Bei dieser stärkeren Verspannung werden über den Querschnitt des Verzögerungselementes mehrere Perioden der Verzögerungswirkung durchlaufen, so dass zwischen einzelnen Bereichen geringere Transmission (dunkel) mehrere streifenförmige Bereiche mit hoher Transmission liegen.

Bei einer Ausführungsform werden die Aktuatoren der Spanneinrichtung durch Schrauben gebildet, die an der Fassung für das Verzögerungselement angreifen und auf das Verzögerungselement wirken. Je nach Schraubstellung werden mehr oder weniger große Spannungen erzeugt. Auf diese Weise kann bei einmal festgelegter Drehstellung der Schrauben ein Verzögerungselement lokal variierender, jedoch fest vorgegebener Verzögerungswirkung geschaffen werden. Sofern die Drehstellung der Schrauben durch eine externe Steuereinrichtung bei eingebauter Verzögerungseinrichtung verändert werden kann, ist auch eine dynamische Steuerung der Filterungswirkung des Transmissionsfilters möglich. Bei einer anderen Ausführungsform sind elektrisch ansteuerbare piezoelektrische Aktuatoren vorgesehen, die zur Erzeugung einer



- 31 -

zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung des Verzögerungselementes 920 elektrisch stufenlos angesteuert werden können.

Patentansprüche

1. Transmissionsfiltervorrichtung zur ortsabhängigen Intensitätsfilterung einer Eintrittslichtverteilung mit:  
mindestens einer in Transmission betreibbaren Verzögerungseinrichtung (23, 720, 920) zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht der Eintrittslichtverteilung, wobei die Verzögerungseinrichtung (23) zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung ansteuerbar ist, sowie mit mindestens einer im Lichtweg hinter der Verzögerungseinrichtung angeordneten Polarisationsfilteranordnung (24, 730).
2. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 1, bei der die Verzögerungseinrichtung (23, 720, 920) zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung stufenlos ansteuerbar ist.
3. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Verzögerungseinrichtung eine Zellenanordnung (23) mit einer Vielzahl von Zellen umfasst, die vorzugsweise individuell und unabhängig voneinander ansteuerbar sind.
4. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 3, bei der die Zellenanordnung (23) mindestens einen nichtlinearen optischen Kristall (63, 163) zur Erzeugung eines linearen elektrooptischen Effekts (Pockels-Effekt) in Lichtdurchtrittsrichtung der Eintrittslichtverteilung umfasst.
5. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 4, bei welcher der nichtlineare optische Kristall (63, 163) für Licht in einem Wellenlängenbereich unterhalb von 200nm transparent ist.

6. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 5 oder 5, bei welcher der nichtlineare optische Kristall (63, 163) im Wesentlichen aus Beta-Bariumborat (BBO), Kaliumdihydrogenphosphat (KDP), deuteriertem Kaliumdihydrogenphosphat (DKDP) oder Lithium-Triborat (LBO) besteht.
7. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, bei dem der nichtlineare optische Kristall (63, 163) als den Bereich der Eintrittslichtverteilung vollständig überdeckende Planplatte mit einer ersten und einer zweiten Plattenfläche (64, 65) ausgeführt ist.
8. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 7, bei der zur Erzeugung einer Zellenanordnung (23) auf der ersten Plattenfläche (65) eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden (61) sowie auf der zweiten Plattenfläche (64) eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten zweiten Elektroden aufgebracht ist und erste und zweite Elektroden einander zur Bildung einer Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten Elektrodenpaaren paarweise zugeordnet sind, wobei jedes Elektrodenpaar eine Zelle der Zellenanordnung definiert.
9. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 7, bei der zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden (61) sowie auf der zweiten Plattenfläche mindestens eine zweite Elektrode (62) aufgebracht ist, wobei mehreren ersten Elektroden (61a, 61b) eine gemeinsame zweite Elektrode (62) zugeordnet ist.
10. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 7, bei der zur Erzeugung einer Zellenanordnung auf der ersten Plattenfläche eine Mehrzahl von voneinander elektrisch getrennten ersten Elektroden (61)

aufgebracht ist und die zweite Plattenfläche eine einzige zweite Elektrode (62) aufweist, der die Mehrzahl erster Elektroden (61) zugeordnet ist.

11. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei der die voneinander elektrisch getrennten Elektroden (61) auf dem Kristall in einem Abstand voneinander angeordnet sind, der groß gegen die Plattendicke des nichtlinearen optischen Kristalls (63, 163) ist.
12. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei welcher die Elektroden (61, 62, 161, 162) im Wesentlichen frei von hohen Feldstärken verursachenden Bereichen (Materialspitzen) ist.
13. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, bei welcher mindestens eine Elektrode (61, 62, 161, 162) eine Antireflexschicht aufweist.
14. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, bei der mindestens eine Elektrode (61, 62, 161, 162) als Gitterelektrode (70) mit einer Mehrzahl von Stegen (72) aus elektrisch leitendem Material und hohem transparenten Flächenanteil ausgebildet ist.
15. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, bei der die Elektroden (61, 62, 161, 162) derart teiltransparent ausgebildet sind, dass der durch die Elektroden (61, 62, 161, 162) hervorgerufene Transmissionsverlust der Eintrittslichtverteilung beim Durchgang durch die Zellenanordnung kleiner als 20% ist.

16. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 15, der eine Steuerungseinrichtung (60) zur Erzeugung von unabhängig voneinander einstellbaren elektrischen Potentialdifferenzen zwischen jeweils einer der elektrisch voneinander getrennten ersten Elektroden (61) der ersten Plattenfläche (65) und einer zugeordneten Elektrode (62) der zweiten Plattenfläche (64) zugeordnet ist.
17. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 3, bei dem die Verzögerungseinrichtung mindestens ein Verzögerungselement (720, 920) aus spannungs-doppelbrechendem Material und eine Spanneinrichtung (930) mit mindestens einem an dem Verzögerungselement angreifenden Aktuator zur Einstellung eines vorgebbaren Spannungszustandes des Verzögerungselementes gemäß einer vorgebbaren Ortsverteilung umfasst.
18. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 17, bei der die Verzögerungseinrichtung nur ein einziges Verzögerungselement (720, 920) aufweist, insbesondere in Form einer im Wesentlichen planparallelen Platte.
19. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, bei der die Spanneinrichtung (930) mindestens ein Aktuatorenpaar mit einem Paar von Aktuatoren aufweist, die bezogen auf eine Zentralachse (925) des Verzögerungselementes diametral gegenüberliegend angeordnet sind.
20. Transmissionsfiltervorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, bei der die Spanneinrichtung (930) mehrere unabhängig voneinander ansteuerbare Aktuatorenpaare umfasst, die vorzugsweise eine Kreuzanordnung oder Sternanordnung von Aktuatoren bilden.

21. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, bei der die Spanneinrichtung (930) derart ausgelegt ist, dass Spannungsverteilungen einstellbar sind, die bezogen auf eine Zentralachse des Verzögerungselementes eine mehrzählige Radialsymmetrie aufweisen, insbesondere eine 2-zählige, 4-zählige, 6-zählige oder 8-zählige Radialsymmetrie.
22. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Verzögerungseinrichtung beweglich gelagert ist und der Verzögerungseinrichtung eine Bewegungseinrichtung zur Bewegung der Verzögerungseinrichtung relativ zu anderen Teilen der Transmissionsfiltervorrichtung zugeordnet ist, wobei die Bewegungseinrichtung vorzugsweise als Rotationseinrichtung zur Drehung der Verzögerungseinrichtung um eine Rotationsachse ausgebildet ist, die vorzugsweise bei einer in ein optisches System eingebauten Transmissionsfiltervorrichtung mit einer optischen Achse des optischen Systems zusammenfällt.
23. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Verzögerungseinrichtung auswechselbar ist, wobei der Transmissionsfiltervorrichtung eine Wechseleinrichtung zum Austausch einer ersten Verzögerungseinrichtung mit einer ersten ortsabhängigen Verzögerungswirkung gegen mindestens eine zweite Verzögerungseinrichtung mit einer von der ersten Verzögerungswirkung unterschiedlichen zweiten ortsabhängigen Verzögerungswirkung zugeordnet ist.
24. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die eine im Lichtweg vor der Verzögerungseinrichtung angeordnete Polarisatoranordnung (740) umfasst, wodurch aus unpolarisiertem Licht eine mindestens teilweise polarisierte Eintritts-

lichtverteilung erzeugbar ist, die auf die Verzögerungseinrichtung trifft.

25. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Polarisationsfilteranordnung mindestens einen Dünnschichtpolarisator (24) umfasst.
26. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Polarisationsfilteranordnung mindestens eine transparente Planplatte umfasst, welche bezüglich des auftreffenden Lichts im Wesentlichen unter dem Brewster-Winkel angeordnet ist.
27. Transmissionsfiltervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Polarisationsfilteranordnung mindestens einen Polarisationssteilerblock mit einer zwischen transparentem Material eingeschlossenen Polarisationssteilerschicht umfasst, welche bezüglich des auftreffenden Lichts im Wesentlichen unter dem Brewster-Winkel angeordnet ist.
28. Beleuchtungssystem für eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage zur Beleuchtung eines Beleuchtungsfeldes (53) mit dem Licht einer primären Lichtquelle (2) mit einer Pupillenformungseinheit zur Erzeugung einer vorgebbaren Lichtverteilung in einer Pupillenebene (9) des Beleuchtungssystems, bei dem mindestens eine Transmissionsfiltervorrichtung (22) nach einem der Ansprüche 1 bis 25 vorgesehen ist.
29. Beleuchtungssystem nach Anspruch 28, bei dem die Transmissionsfiltervorrichtung (22) in oder in der Nähe einer Ebene mit geringer numerischer Apertur, vorzugsweise in oder in der Nähe einer Ebene mit numerischer Apertur  $< 0,1$ , besonders bevorzugt in

oder in der Nähe einer Pupillenebene (9, 18) des Beleuchtungssystems vorgesehen ist.

30. Beleuchtungssystem nach Anspruch 28 oder 29, das keine Lichtmischeinheit zur Homogenisierung des Beleuchtungslichts umfasst.
31. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 28 bis 30, bei dem eine mit einer Steuerungseinrichtung (60) und der Pupillenformungseinheit verbundene Regelungseinheit (59) zur Abstimmung der ortsabhängigen Intensitätsfilterung auf die Lichtverteilung in der Pupillenebene (18) vorgesehen ist.
32. Beleuchtungssystem nach Anspruch 31, bei dem die Steuerungseinrichtung (60) derart ausgebildet ist, dass diese zur Erzeugung einer Homogenisierungswirkung eine Einstellung der Transmissionsfilterwirkung auf den minimalen Intensitätswert der Eintrittslichtverteilung ermöglicht.
33. Belichtungsverfahren zur Belichtung eines im Bereich einer Bildebene (55) eines Projektionsobjektives angeordneten Substrates mit mindestens einem Bild eines im Bereich einer Objektebene des Projektionsobjektives angeordneten Musters einer Maske mit:  
Beleuchten des Musters mit Beleuchtungsstrahlung eines Beleuchtungssystems nach einem der Ansprüche 26 bis 30 zur Erzeugung einer durch das Muster veränderten Strahlung;  
Durchstrahlen des Projektionsobjektives (51) mit der durch das Muster veränderten Strahlung zur Erzeugung einer auf das Substrat gerichteten Ausgangsstrahlung, wobei  
die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung in der Objektebene (53) des Projektionsobjektives (51) mit der Transmissionsfiltervorrichtung (22, 710) ortsabhängig und zeitabhängig variabel eingestellt wird.



34. Belichtungsverfahren nach Anspruch 33, bei dem das Beleuchtungssystem eine Pupillenformungseinheit aufweist, an der zunächst eine erste Lichtverteilung eingestellt und an der Transmissionsfiltervorrichtung (22) eine erste ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen wird und danach am Pupillenformungselement eine zweite Lichtverteilung eingestellt und an der Transmissionsfiltervorrichtung (22) eine zweite ortsabhängige Intensitätsfilterung vorgenommen wird.
35. Belichtungsverfahren nach Anspruch 33 oder 34, bei dem die Intensitätsverteilung der Beleuchtungsstrahlung mit der Steuerungseinrichtung (60) zur Erzeugung einer Homogenisierungswirkung auf den minimalen Intensitätswert der Eintrittslichtverteilung eingestellt wird.
36. Verzögerungseinrichtung zur ortsabhängigen Verzögerung einer Eintrittslichtverteilung mit:  
mindestens einer in Transmission betreibbaren Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer ortsabhängigen Verzögerungswirkung am Licht der Eintrittslichtverteilung, wobei die Zellenanordnung (23) zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung ansteuerbar ist.
37. Verzögerungsanordnung nach Anspruch 36, gekennzeichnet durch die Merkmale des Kennzeichens von mindestens einem der Ansprüche 3 bis 16.
38. Verzögerungseinrichtung zur ortsabhängigen Verzögerung einer Eintrittslichtverteilung mit:  
mindestens einem in Transmission betreibbaren Verzögerungselement aus spannungsdoppelbrechendem Material und einer

Spanneinrichtung (930) mit mindestens einem an dem Verzögerungselement angreifenden Aktuator zur Einstellung eines vorgebbaren Spannungszustandes des Verzögerungselementes gemäß einer vorgebbaren Ortsverteilung, wobei die Verzögerungseinrichtung zur Erzeugung einer zeitlich variablen, ortsabhängigen Verzögerungswirkung ansteuerbar ist.

39. Verzögerungseinrichtung nach Anspruch 38, gekennzeichnet durch die Merkmale des Kennzeichens von mindestens einem der Ansprüche 17 bis 21.

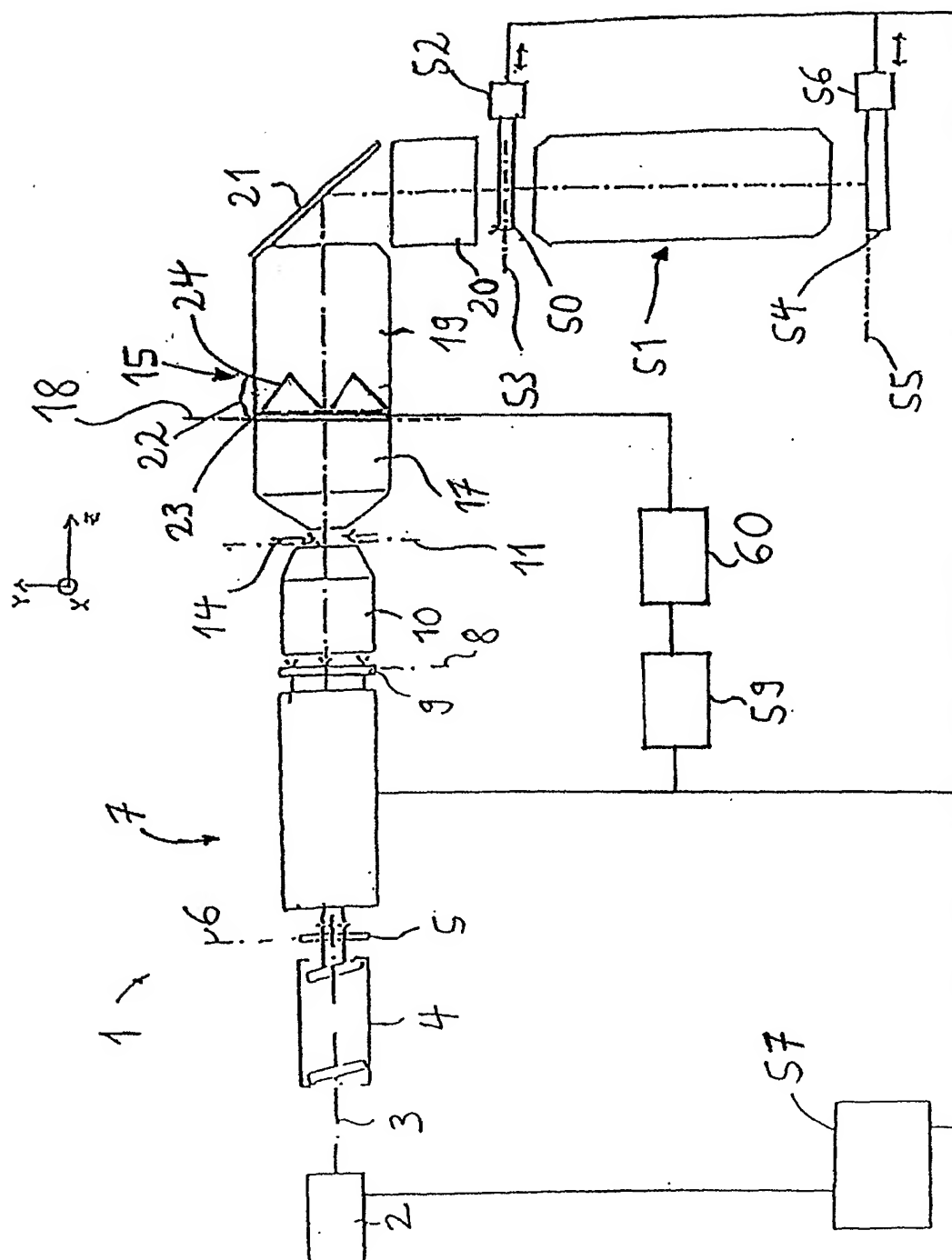


Fig. 1

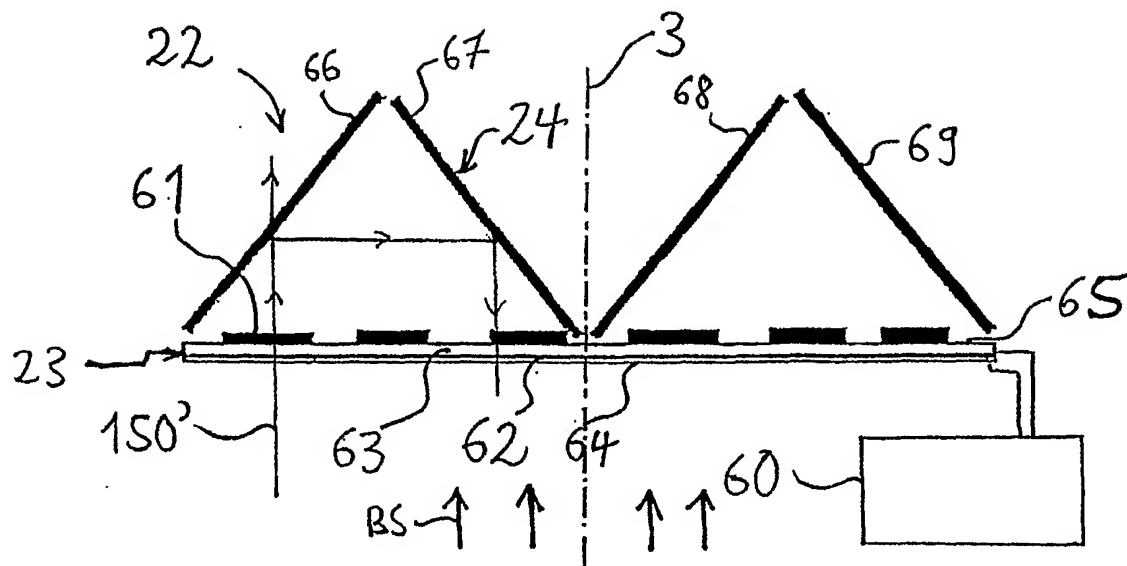


Fig. 2

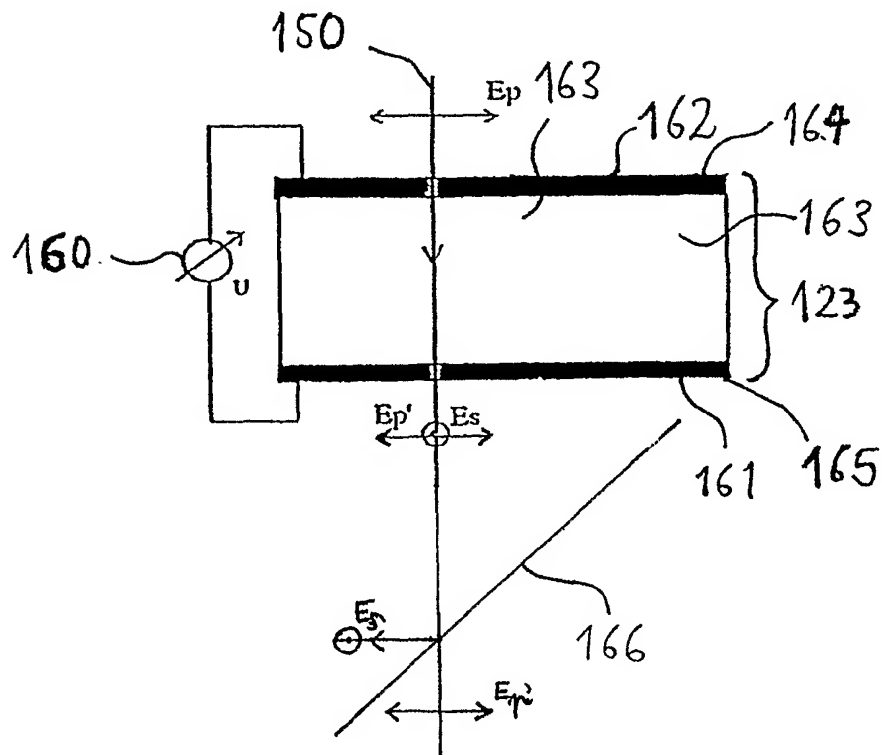


Fig. 3

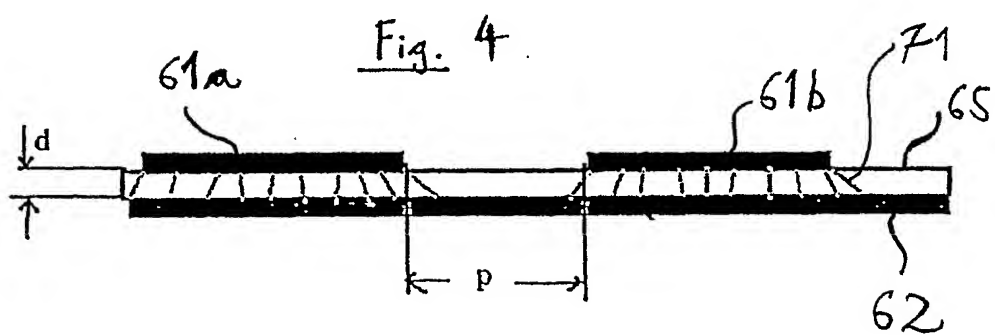
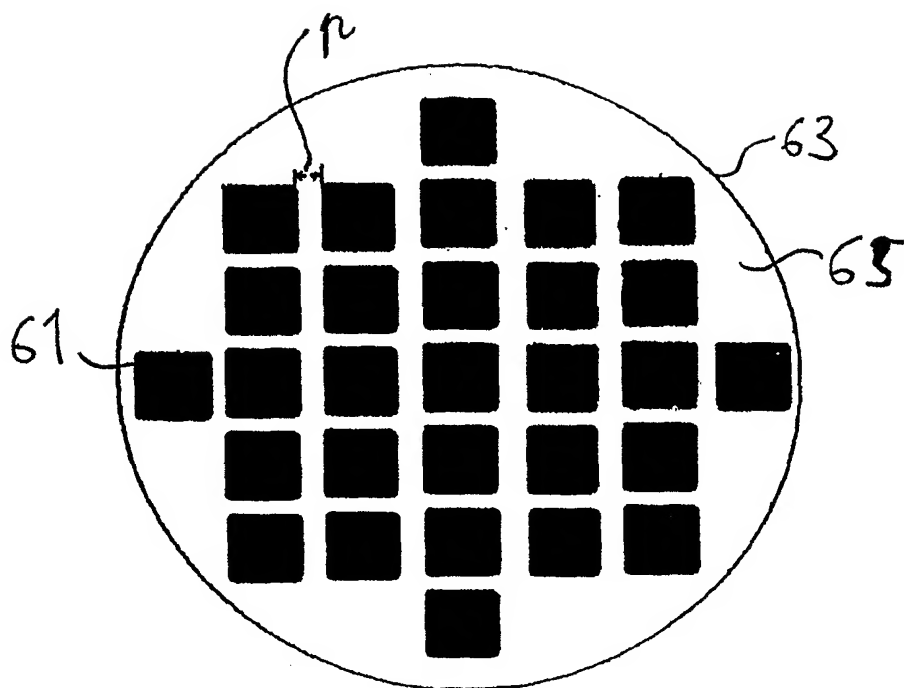


Fig. 5

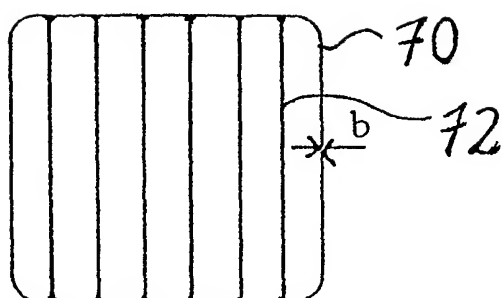


Fig. 6

Fig. 7

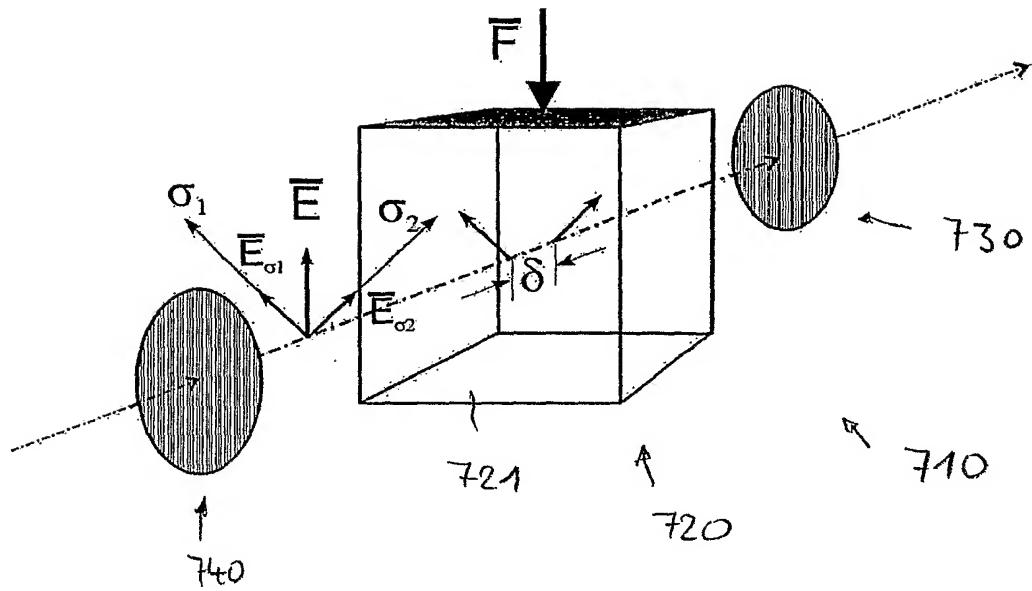
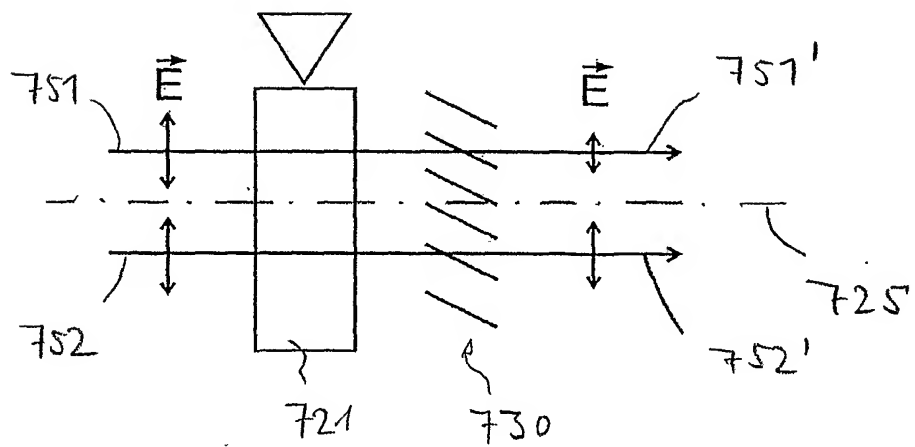


Fig. 8



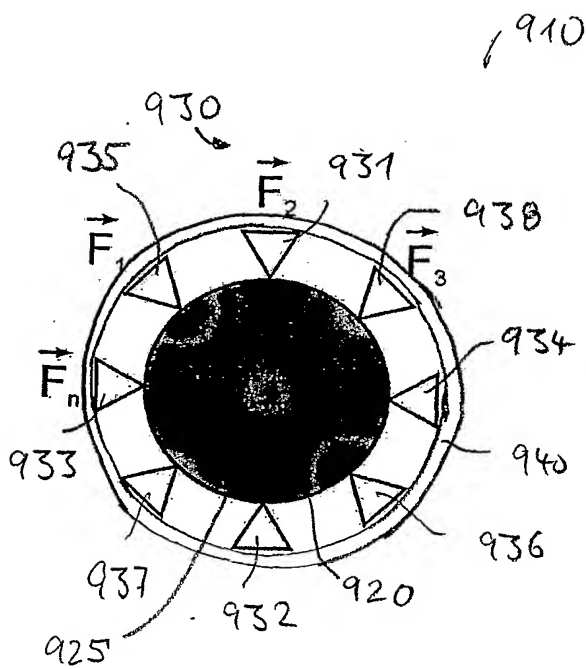
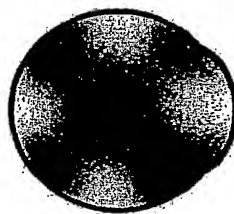
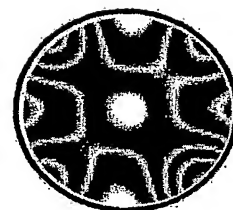


Fig. 9



(a)



(b)

Fig. 10